

**EVALUACIÓN DEL PROCESO Y VIABILIDAD DE COMPOSTAJE CON SANGRE
BOVINA Y ESTIÉRCOL GENERADOS EN UNA PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL**

MAURICIO ENRIQUE REVUELTA MUÑOZ

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERIA AMBIENTAL
BARRANQUILLA**

2018

**Evaluación del Proceso y Viabilidad de Compostaje con Sangre Bovina y Estiércol
Generados en una Planta de Beneficio Animal**

Mauricio Enrique Revuelta Muñoz

**Trabajo de Grado Presentado como Requisito para Optar al Título de Ingeniero
Ambiental**

Directores:

Liliana Lozano Ayarza

Daniel Castañeda Valbuena

Universidad de la Costa – CUC

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Ingeniería Ambiental

Barranquilla

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, Atlántico, 26 de Julio de 2018

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a Dios, por llenarme de sabiduría, paciencia, perseverancia y por todas las personas que colocho en mi camino para llevarlo a su culminación.

A mi familia por ser mi principal apoyo, a mis amigos, quienes me dieron palabras de aliento para seguir.

Agradecimientos

A Dios como cabeza de todo.

A mis tutores por su paciencia, trabajo, conocimiento y acompañamiento durante este proceso.

A mis amigos Marylin Santander, Geraldine Salcedo, Gyna Torres y Darwin Mercado, por ser mí soporte, mi ayuda, por su colaboración y apoyo.

Resumen

El compostaje es un proceso biológico de degradación de materia orgánica, realizada por microorganismos en presencia de oxígeno, con una adecuada temperatura, humedad y pH, se garantiza la transformación de residuos orgánicos en abono homogéneo. Con el propósito de evaluar el proceso de compostaje con sangre bovina, generada en una planta de beneficio y otros residuos como el estiércol, se realizó un diseño experimental a escala piloto de una mezcla de estos dos componentes con tres variaciones en los porcentajes en cada muestra. Se estudió por lo tanto el proceso de descomposición y degradación de la materia orgánica, así como los parámetros que evidencian el desarrollo del mismo, como lo son el pH, la temperatura, la humedad, y la cantidad de carbono y nitrógeno presente en cada muestra. El proceso se desarrolló por un total de 9 semanas, divididas en tres periodos donde se esperaban cambios en las variables antes mencionadas. A partir de los resultados obtenidos y el análisis de los mismos, se identificó que la alta humedad con valores iniciales superiores al 80% para cada una de las muestras, y la baja relación Carbono: Nitrógeno, con valores por debajo de 20:1; no permitieron la biooxidación de la masa a compostar, ni los cambios necesarios en la misma para su maduración. Con este estudio se pretende generar conocimiento para la adopción de alternativas que permitan la reutilización de los desechos de la PBA (Plantas de Beneficio Animal) y disminuya la contaminación generada por la incorrecta disposición final de estos desechos.

Palabras clave: Compostaje, materia orgánica, sangre, estiércol

Abstract

Composting is a biological process of degradation of organic matter, carried out by microorganisms in the presence of oxygen, with an adequate temperature, humidity and pH, the transformation of organic waste into homogeneous fertilizer is guaranteed. In order to evaluate the composting process with bovine blood, generated in a beneficiation plant and other residues such as manure, an experimental pilot-scale design of a mixture of these two components was performed with three variations in the percentages in each sample. The decomposition and degradation process of the organic matter were studied, as well as the parameters that show the development of the sample, such as pH, temperature, humidity, and the amount of carbon and nitrogen present in each sample. The process was developed for a total of 9 weeks, divided into three periods where changes were expected in the aforementioned variables. From the results obtained and the analysis of them, it was identified that the high humidity with initial values over 80% for each of the samples, and the low Carbon: Nitrogen, with values below 20: 1; affected the bio-oxidation of the mass to be composted, and the necessary changes in it for its maturation. This study aims to generate knowledge for the adoption of alternatives that allow the reuse of PBA's (Slaughter House) waste and reduce the pollution generated by the incorrect final disposal of these wastes.

Keywords: Compost, organic material, blood, manure

Contenido

Lista de tablas y figuras	- 9 -
Introducción	- 11 -
1. Descripción del problema	- 13 -
2. Objetivos	- 16 -
2.1. Objetivo general	- 16 -
2.2. Objetivos específicos	- 16 -
3. Marco teórico y estado del arte	- 17 -
3.1. Estado del arte	- 17 -
3.2. Marco teórico	- 20 -
4. Diseño metodológico	- 35 -
4.1. Montaje del experimento	- 35 -
4.2. Materias primas	- 35 -
4.3. Formulación	- 36 -
4.4. Monitoreo y control	- 39 -
4.5. Análisis estadístico	- 40 -
5. Resultados y discusión	- 41 -
5.1. pH	- 41 -
5.2. Temperatura	- 44 -
5.3. Humedad	- 48 -
5.4. Relación Carbono: Nitrógeno	- 49 -
6. Conclusiones	- 52 -
7. Recomendaciones	- 53 -
8. Referencias	- 54 -

Lista de tablas y figuras**Tablas**

Tabla 3.1 Concentraciones promedio de contaminantes en el agua residual de Plantas de Beneficio Animal	- 21 -
Tabla 3.2 Composición de la Sangre	- 22 -
Tabla 3.3 Composición química del estiércol de vaca.....	- 24 -
Tabla 3.4 Rangos óptimos de aireación	- 28 -
Tabla 3.5 Rangos óptimos de humedad	- 29 -
Tabla 3.6 Rangos óptimos de temperatura.....	- 31 -
Tabla 3.7 Rangos óptimos de pH.....	- 32 -
Tabla 3.8 Rangos óptimos de relación Carbno / Nitrógeno.....	- 34 -
Tabla 4.1 Composición de cada tratamiento.....	- 37 -
Tabla 4.2 Parámetro a evaluar y técnica utilizada	- 40 -
Tabla 5.1 ANOVA del pH y Temperatura para los tres tratamientos en los tres periodos.....	- 42 -
Tabla 5.2 Resultados obtenidos de humedad vs Rangos óptimos	- 48 -
Tabla 5.3 Resultados de Carbono Orgánico Total en cada muestra	- 49 -
Tabla 5.4 Resultados de Nitrógeno Total	- 50 -
Tabla 5.5 Relación Carbono: Nitrógeno	- 50 -

Figuras

Figura 3.1. Grafica de Temperatura en las Fases del Compost..	- 30 -
Figura 4.1. Proceso de montaje de la investigación.....	- 36 -
Figura 4.2. Imagen inicial del Tratamiento 1.....	- 37 -
Figura 4.3. Imagen inicial del Tratamiento 2.....	- 38 -
Figura 4.4. Imagen inicial del Tratamiento 3.....	- 38 -
Figura 5.1. Variación del PH en los 3 periodos de operación del compostaje para los tres tratamientos.....	- 41 -
Figura 5.2. Gráfico de medias del pH y test de Tukey con una confiabilidad del 95%.....	- 43 -
Figura 5.3.Variación de la temperatura durante los 3 periodos de operación del compostaje.-	- 45 -
Figura 5.4.Gráfico de medias para la temperatura, test de Tukey con confiabilidad del 95%..-	- 47 -

Introducción

Según cifras de FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos), en Colombia durante el año 2015 se sacrificaron 4.311.000 cabezas de ganado bovino, lo que representa alrededor de 56.000 toneladas de sangre, como residuo de dicha actividad. A pesar que la tasa de generación de sangre es sustancialmente elevada, la responsabilidad de las Plantas de Beneficio Animal con los desechos resultantes durante el procesamiento del ganado es mínima casi nula, y a su vez es omitida debido a la flexibilidad de la legislación colombiana para el monitoreo y seguimiento de esta industria (FEDEGAN, 2016).

De los 500 frigoríficos activos en Colombia que procesan carne bovina, solo 11 cumplen los requisitos exigidos en el Decreto 1500 de 2007 que pretende modernizar el sacrificio, formalizar la cadena cárnica y cumplir con los estándares de los TLC (Tratado de Libre Comercio) (Contexto Ganadero, 2014). Según Contexto Ganadero, existen 167 poblaciones de Colombia que realizan sus sacrificios de manera ilegal, esto no solo representa un alto riesgo para la población en cuestiones de sanidad, debido a la falta control de asepsia en los procesos, sino también una evasión de asuntos ambientales pues hay una gran limitación en la técnicas post-mortem, aumentando los riesgos de contaminación e infiltración (Contexto Ganadero, 2017).

El potencial contaminante de los residuos ganaderos viene determinado por los parámetros: materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y metales pesados, particularmente cobre. Destaca la materia orgánica porque la contaminación, que potencialmente puede producir es extremadamente elevada, sobre todo si la valoración contaminante se realiza en función de la carga orgánica (Rodríguez, 2002).

Los residuos de las PBA son muy heterogéneos y están conformados por deyecciones líquidas y sólidas. Las principales fuentes generadoras de residuos líquidos en los mataderos son las aguas de lavado y las corrientes provenientes de los procesos de desangrado y evisceración. Estas corrientes aportan gran cantidad de la carga orgánica, estimándose conveniente la segregación de dichas corrientes y el consiguiente tratamiento individualizado. Estos efluentes contienen: sangre, estiércol, pelos, grasas, huesos, proteínas y otros contaminantes solubles (Gonzales, 1995). A partir de lo anterior, se considera la sangre como el principal y mayor contaminante de los residuos generados por las plantas de beneficio, aportando elementos patógenos, un alto índice de DQO (Demanda Química de Oxígeno), y una elevada cantidad de nitrógeno.

El objetivo de esta investigación plantea la elaboración de compostaje como una alternativa que permita la reutilización de sangre y estiércol y su aprovechamiento como abono orgánico, reduciendo el impacto ambiental causado por las PBA. El compostaje es un método biológico que permite la transformación de residuos orgánicos en un producto relativamente estable. Para lograr un compostaje funcional, el estiércol y los demás residuos deben ser mezclados en proporciones tales que la relación carbono/nitrógeno (C/N), la humedad y la aireación sean adecuadas para que estimulen una actividad microbiana intensiva, que modifique la estructura química y física de los materiales, cambiando la especiación química para que los nutrientes sean disponibles (Hernández y Rodríguez, 2013).

1. Descripción del problema

El aumento acelerado de la demanda global de carne, leche y huevos se ha impulsado por el crecimiento poblacional, urbanización y aumento de los ingresos. Para el año 2010, la carne de vacuno ocupó el tercer lugar en la ingesta mundial de carne, contribuyendo con el 24% (Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES] 3676, 2010). A pesar de ser una demanda en promedio baja, sus cifras se mueven de forma ascendente. Para el año 2015 la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) registró un incremento limitado pero significativo del 1,9% y así totalizó 9,8 millones de toneladas. Se estima por lo tanto una producción de 67,9 millones de toneladas para el año 2016, los mayores aumentos se registran en países como, China, la UE, los Estados Unidos y Brasil (FAO, 2015).

Es probable que el incremento del número de cabezas de ganado necesarias para satisfacer el crecimiento previsto de la demanda de productos pecuarios tenga un efecto notable en los recursos hídricos. El sector pecuario puede empeorar la calidad del agua mediante la liberación de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes, patógenos y otras sustancias en los cauces fluviales y en las aguas subterráneas, procedentes, principalmente, del estiércol empleado en las operaciones pecuarias intensivas. El manejo deficiente del estiércol y otros desechos como la sangre, a menudo contribuye a la contaminación y la eutrofización de las aguas de superficie y subterráneas y de los ecosistemas marinos litorales, así como a la acumulación de metales pesados en el suelo (FAO, 2009).

Entre los recursos naturales más afectados por los desechos generados en la industria ganadera, se encuentra el agua, aunque la mayor parte de este recurso es devuelto al ecosistema, entra altamente contaminada, acelerando la degradación de los cuerpos de agua debido al

incremento de descargas directas. De hecho, el 70 % de los países en desarrollo, vierte sus desechos industriales en los cuerpos de agua sin ningún tratamiento previo (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2003).

Según cifras del DANE, en Colombia durante el año 2017, se sacrificaron 3'393.127 cabezas de ganado vacuno, por lo que se calcula se generaron entre 33'931.270 – 40'717.524 litros de sangre. Asimismo se puede afirmar que, el 99% de los mataderos en el país no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, lo cual muestra la ineficiencia en procesos de recolección y disposición final de estas aguas, como consecuencia el 93% de la PBA vierte sus aguas residuales directamente a un cuerpo de agua, al alcantarillado o a campo abierto, afectando de forma directa la calidad de los mismos; el 84% vierte el contenido ruminal directamente a los cuerpos de agua o en campo abierto, y el 33% no hace en lo absoluto ningún uso de la sangre resultante de los procesos de sacrificio y faenado (Guerrero y Monsalve, 2007).

En el departamento del Atlántico se encuentran inscritos un total de 15 Plantas de Beneficio Animal de especies bovino y porcino, sin embargo solo 6 de estas plantas se encuentran autorizadas legalmente para su funcionamiento, lo que muestra que más del 60% de las PBA, no cuentan con procesos estandarizados para la producción de carne y sus derivados (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos [INVIMA], 2015). Adicional a sus técnicas artesanales se les suma, su insuficiente infraestructura en la producción y en la disposición de sus desechos, todas estas plantas vierten sus desechos a canales de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento previo, y estas terminan en cuerpos de aguas cercanos, como lagunas, embalses, lagos, caños, entre otros. Considerando la alta disponibilidad mostrada de la sangre, su bajo costo, su alto valor proteico y su impacto generado al ambiente, la sangre

constituye un recurso de altísima importancia para su aprovechamiento en diversas aplicaciones. Por lo tanto es necesario abordar con urgencia en Colombia vías de solución no solo a la problemática ambiental causada por este subproducto, si no igualmente a la obtención de productos de valor agregado que ayuden a superar la situación financiera que hoy enfrentan las centrales de sacrificio en Colombia. (Barragan, 2013).

Pregunta Problema: ¿Es viable realizar un compostaje a partir de sangre y estiércol bovino provenientes de plantas de beneficio animal?

2. Objetivos

2.1.Objetivo general

Evaluar la viabilidad del proceso de elaboración de compostaje con sangre bovina y estiércol, generados en una planta de beneficio animal como método de disposición final de estos residuos.

2.2.Objetivos específicos

- Analizar la influencia de los parámetros físico-químicos en el proceso de compostaje de materia orgánica.
- Identificar cuál es la proporción de Estiércol y Sangre, que presenta los mejores resultados durante el proceso de composta.

3. Marco teórico y estado del arte

3.1. Estado del arte

La problemática de cómo gestionar los residuos sólidos y líquidos generados a partir de cualquier actividad antropogénica ha cobrado importancia en las últimas décadas, por el deterioro del medio ambiente y la poca capacidad del mismo para lograr disponer de estos residuos. La capacidad del suelo y agua de auto depurarse al recibir los desechos generados, es una de las mayores preocupaciones, pues estos al final modifican química y físicamente la condiciones de estos recursos. Existe entonces la necesidad de desarrollar sistemas de tratamiento de residuos, ya que cada generador es responsable de sus residuos y de tratar que la disposición final no impacte el medio ambiente. Por lo cual es relevante buscar nuevas alternativas para el tratamiento de los mismos.

Diferentes estudios recomiendan el compostaje como una solución viable y rentable a la disposición final de residuos sólidos y líquidos de PBA. Mourales, Xavier, Silva y Junior (2006) realizaron un compost a partir de residuos sólidos y líquidos de un matadero, llegando a la conclusión que, los residuos de los sacrificios de bovinos pueden ser utilizados para el compostaje, permitiendo que las fases de descomposición se realicen alcanzando una óptima relación C / N que posibilita la utilización del compuesto como bio-fertilizante, esto después de realizar un ciclo de compostaje de 110 días y obtener una relación C: N de 47: 1, con una temperatura media de 40° C, que a pesar de estar por debajo del rango optimo no interfirió en el desarrollo del compostaje. (p. 2978)

Un estudio de compostaje fue llevado a cabo en Ridgetown College, Universidad de Guelph, evaluó las características de olor, y las reducciones de volumen y de masas que estaban medido y se tomaron muestras de las materias primas antes de compostaje y luego a 4 intervalos de una semana, obteniendo como resultado un compost con condiciones adecuadas, corroborando que la sangre podría fácilmente servir como un ingrediente en una receta de compost, debido a que tanto el nivel N y los sólidos totales son bastante altos, lo cual debe ser emparejado con una material que tenga una alta relación C: N (Fleming & MacAlpine, 2005).

El Departamento de Agricultura y Agroalimentación de Canadá, realizó un estudio en el año 2013, en el cual emplearon compostaje con sangre vacuna y estiércol de otros animales, reportando que la carroña de ovejas incluida la lana queratinizado, se degradaron por completo durante el compostaje, con temperaturas superiores a 60°C durante un período de 41 días usando una proporción de cinco partes estiércol de ganado por una de carroña. En un ensayo de compostaje en hileras, se demostró que <1% de hueso se mantuvo en el compost curado y que más del 90% de los tejidos de cerebro bovino se descompone después de 7 días, el 80% de los cascos de la especie bovina son descompuestos después de 56 días de compostaje. Adicional a esto en el mismo sistema de compostaje se logró una reducción al 93% en el ADN mitocondrial bovino, suponiendo entonces la descomposición casi por completo de los tejidos blandos presentes en la carroña luego de 147 días de compostaje. Estos estudios sugieren que bajo condiciones óptimas el compostaje puede ser un método efectivo para disponer los desechos de mataderos (Xu, Reuter, Larney y McAllister, 2014).

Por otro lado, la Universidad Estadio del Oeste de Paraná en Brasil, se realizó un experimento en el cual se evaluó diariamente la temperatura, observando la aparición de parámetros no

deseados (mal olor u olor amoniacal, la formación de la grasa y la presencia de larvas y moscas). Las temperaturas aumentaron, llegando a 70° C; composición química del compost mostró contenidos relevantes de macro y micronutrientes, un alto potencial de reciclaje. Se concluyó que, la mejor relación en peso de materiales fue de aproximadamente 7 kg de residuos por cada kg de paja y 16kg de residuos por cada kg de aserrín (Costa et al, 2009). Por otro lado Guerreiro & Monsalve (2007), evaluaron el pH de dos pilas de compostaje obteniendo que, la pila 1 presentó un pH más neutro, una menor humedad, una mayor concentración de los macronutrientes N, P y K, y un mayor contenido de materia orgánica. Sin embargo, de acuerdo a la normatividad existente sobre abonos orgánicos, con ninguna de las dos pilas se alcanzó la humedad ideal del 20%, lo que permite indagar acerca de la necesidad de realizar los volteos a las pilas de compostaje con una mayor frecuencia.

En la investigación realizada por Universidad Politécnica Estatal del Carchi (Ecuador), entre los tres tratamientos que se propusieron, del que se obtuvo mayor cantidad de compost fue el Tratamiento 1 con sus tres repeticiones, T1R1-T1R2-T1R3-T1R4 (Contenido ruminal 75% + Sangre 25%) donde el tratamiento T1R2 fue el mejor, del cual se obtuvo 231 Kg. Se recomienda la mezcla de contenido ruminal al 75% + sangre al 25%, es decir el tratamiento T1, por cuanto los resultados obtenidos según reporte de análisis de laboratorio brindaron alto contenido de N y K₂O (Eche, 2011).

3.2. Marco teórico

3.2.1 La industria ganadera.

El gran potencial contaminante de las PBA se basa en la cantidad de residuos generados en cada uno de los procesos, con el fin de minimizar sus efectos en el medio ambiente se plantea la reutilización de la sangre bovina como estrategia preventiva, evitando así que esta sea desechada directamente a cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo.

Este sector se encuentra constituido por las industrias que enfocan sus actividades a mataderos, salas de despiece, frigoríficos e industrias de elaborados cárnicos, siendo estas últimas aquellas que se dedican a la fabricación de embutidos como salchichas, jamones, entre otros, donde la materia prima es la carne en canal de plantas de beneficio (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015). La cadena productiva de estas industrias son extensas, sin embargo esta investigación se enfoca en la dos últimas etapas, definidas como sacrificio y faenado. Durante el sacrificio, el animal es aturdido y degollado, generando así un alto consumo de energía y grandes cantidades de residuos.

Los subproductos de la industria cárnica están compuestos de materiales comestibles (utilizados directa o indirectamente para consumo humano y animal) y no comestibles cuyo tratamiento puede tener lugar en la planta o más frecuentemente, en locales distintos. Los subproductos incluyen además de las vísceras, el pelo, los pellejos, las pezuñas, los cuernos, las pieles y la sangre (Gracey J. F., 2001).

El ganado y productos resultantes de esta actividad, son una fuente importante de alimento para la mayoría de los 7,5 millones de personas en la tierra. Sin embargo, la eliminación de los desechos generados durante el curso de la producción ganadera representa una responsabilidad

potencial económica y ambiental, la tabla 1 relaciona las concentraciones producto de esta industria (Xu et al, 2014).

Tabla 1

Concentraciones promedio de contaminantes en el agua residual de Plantas de Beneficio Animal

Parámetro (unidad)	Especies faenadas		
	Porcino	Bovino	Aves
DBO ₅ (mg/L)	1250	2000	1550
DQO (mg/L)	2500	4000	2500
Sólidos suspendidos (mg/L)	700	1600	ND
Nitrógeno Total (mg/L)	150	180	150-400
Fósforo Total (mg/L)	25	27	16-50
Grasa (mg/L)	150	270	ND
PH	7,2	7,2	ND

Nota. Hansen y Mortensen (1992)

3.2.1. Sangre de vacuno.

La sangre puede definirse como un tejido líquido que se encuentra en un sistema virtualmente cerrado (sistema circulatorio del organismo de un animal). La sangre de animales sanos es una fuente valiosa de proteínas que tiene muchos usos cuando se recoge y almacena de manera higiénica, la tabla 2 muestra la composición media de la sangre de vacuno, donde los mayores porcentajes están representados en agua y proteínas. La sangre descargada directamente en el sistema de drenaje causa problemas a menudo debido a los gastos elevados del tratamiento de aguas residuales (Veall, 1993)

Tabla 2*Composición de la Sangre*

Componente	Valor %
Agua	80-85
Proteínas	15-18
Lípidos	0,15
Hidratos de Carbono	0,10
Sales minerales	1,00
Otras sustancias	0,55
Materia seca	15-20

Nota. Recuperado de Linden y Lorient (1997).

A pesar de que la sangre es un elemento constante en los organismos, su composición química cambia en función de factores como la raza del animal, su edad, estado fisiológico y alimentación, entre otros. Sin embargo, se puede hablar de una composición media: 80% agua, 18% de proteínas y 2% de hidratos de carbono, lípidos y sales minerales (Linden y Lorient, 1997).

La sangre de res o de bovino es considerada el desecho más contaminante generado por las plantas de beneficio animal para los cuerpos de agua, teniendo un 19,18% de proteínas y un 80,17% de humedad, y se estima que produce una DBO₅ de 0,14 – 0,18 kg por kg de sangre generada. La sangre representa alrededor del 5% al 7% del peso vivo de un cerdo o de un bovino, equivalente a unos 12 L, pudiéndose recuperar hasta un 70% a 80% durante el desangrado, quedando el resto depositado en órganos y tejidos (Signorini et al, 2006).

El tejido sanguíneo tiene un contenido orgánico muy alto, con lo que se estima que produce una DBO₅ de 0,14 a 0,18 kg por kg de sangre. Si la sangre es desechada en el agua, los procesos posteriores de tratamiento tendrán menor eficacia, ya que la presencia de sangre disminuye su efectividad, sobre todo en los procedimientos de coagulación. También contribuye a incrementar la cantidad de nitrógeno en el afluente, lo que tiene implicaciones serias ya que un tratamiento posterior en el cuerpo de agua, o en el drenaje, no lo remueve y puede llegar a causar eutrofización (un proceso natural de envejecimiento de agua estancada o de corriente lenta con exceso de nutrientes). (Signorini et al, 2006).

La carga de contaminación de un establecimiento depende, fundamentalmente, de la eficiencia en la recuperación de la sangre. Ésta aporta una carga importante de contaminación que se encuentra en el orden de 150.000 a 200.000 mg/dm³ de DBO₅. (Signorini et al, 2006).

3.2.2. Estiércol vacuno.

Es estiércol puede definirse como, el material orgánico empleado para fertilizar la tierra, compuesto generalmente por heces y orina de animales domésticos. Puede presentarse mezclado con material vegetal como paja, heno o material de cama de los animales. Aunque el estiércol es rico en nitrógeno, fósforo y potasio, comparado con los fertilizantes sintéticos sus contenidos son menores y se encuentran en forma orgánica. Es rico en materia orgánica, por lo que aumenta la fertilidad del suelo y mejora su capacidad de absorción y retención de agua (FAO, 2013).

Estimaciones indican que un bovino (450 - 635 kg) genera entre 38 y 53 kg/día de estiércol, una alta cantidad si se tiene en cuenta cuantas cabezas de vacuno son sacrificadas mensual y anualmente (Chamy y Vivanco, 2007).

La tabla 3, muestra la composición media del estiércol, la cual en su mayoría se compone de materia orgánica, que junto a los demás nutrientes presentes ayudan a mejorar, las condiciones físicas y químicas del suelo, su rendimiento agrícola, la estructura del mismo y abastece de carbono orgánico necesario para el desarrollo de microorganismos, entre otros. Estas características hacen del estiércol un sustrato ideal para el desarrollo y beneficio de los suelos, aparte de permitir la reutilización de desechos de altamente contaminantes.

Tabla 3

Composición química del estiércol de vaca

Componente	Valor (m/L)
Materia Orgánica	36,10
Nitrógeno	1,51
Fosforo	1,20
Potasio	1,51
Calcio	3,21
Magnesio	0,53
Humedad	25,50

Nota. Recuperado de García *et al*, 2009

3.2.3. El compostaje.

Se define como un proceso biológico aeróbico de descomposición de materia orgánica, en el que intervienen diferentes y numerosos microorganismos; siendo un proceso realizado por dichos microorganismos se requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, y que produce al final de los procesos de degradación, CO₂, agua y minerales, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adverso (Guerrero y Monsalve, 2006).

El compostaje ofrece una solución técnica y financieramente pertinente a los impactos ambientales ocasionados por el inadecuado manejo y disposición de los subproductos generados en los centros de beneficio animal; puesto que permite el tratamiento conjunto de dichos subproductos, y al mismo tiempo obtener un producto denominado “compost”, que puede ser aprovechado como fertilizante compuesto rico en N y P (Guerrero y Monsalve, 2006). En efecto, el proceso técnico de la elaboración del compost ya no se limita únicamente a la descomposición de la materia orgánica, pues como cualquier sistema de aprovechamiento de desechos, se integran las actividades de recuperación, separación, transporte y manejo de los materiales orgánicos que van a descomponerse (Eche, 2011).

Adicional a las ventajas que ofrecen el compostaje como solución para la reutilización de residuos en el caso específico de la sangre, contribuye en la destrucción de patógenos. Las temperaturas alcanzadas durante el proceso de descomposición pueden matar o reducir en gran medida la mayoría de patógenos, reduciendo así la posibilidad de propagar enfermedades. Aunque el calor generado durante el compostaje resulta en una reducción del número de microorganismos y patógenos, no es suficiente para esterilizar completamente el producto final, dejando así un cierto potencial para la supervivencia y (re) crecimiento de patógenos (Ingrid, Franke-Whittle, Insam, 2013).

3.2.3.1. Fases del compostaje.

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. (FAO, 2013).

Mesófila: Esta primera etapa se caracteriza por un aumento en la temperatura por encima de los 40°C, como consecuencia de la presencia de bacterias y microorganismos, y un pH por debajo de 5, esto también debido a la descomposición de material fácilmente degradable.

Termófila: También llamada fase de Higienización, luego que el compost alcanza temperaturas mayores a los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina (FAO, 2013).

Estos organismos actúan a temperaturas mayores (60 - 70° C), produciendo una rápida degradación de la materia orgánica. La temperatura alcanzada durante esta fase del proceso garantiza la higienización y eliminación de gérmenes patógenos, larvas y semillas. Pasado este tiempo disminuye la actividad biológica y se estabiliza el medio. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo, 2014). De Igual forma estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60°C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, entre otros factores (FAO, 2013).

Enfriamiento o mesófila II: Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa. Al bajar de 40 °C, los organismos

mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino (FAO, 2013).

Maduración: Es un período que puede demorar meses de fermentación lenta, en el que la parte menos biodegradable (la más resistente) de la materia orgánica se va degradando. La temperatura de la pila va disminuyendo lentamente hasta mantenerse por meses a temperatura ambiente, de igual forma la actividad bacteriana disminuye, produciéndose la colonización de la pila por todo un mundo de organismos y microorganismos que ayudan a la degradación de esas partes menos biodegradables del residuo (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo, 2009).

3.2.3.2. Parámetros del compostaje.

El proceso de composta puede verse afectado por diferentes parámetros y factores, puesto que intervienen en el desarrollo de los microorganismos encargados de la descomposición y degradación de la materia contenida en el compostaje. Entre estos factores destacan, la relación carbono – nitrógeno, la aireación, la humedad, temperatura y pH.

Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar (FAO, 2013)

Oxígeno: El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera, la tabla 4 relaciona los rangos óptimos de aireación y posibles soluciones cuando estos no se alcanzan durante el compostaje. Así mismo, la aireación evita que el material

se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica (FAO, 2013)

Tabla 4

Rangos óptimos de aireación

Porcentaje de aireación		Problema	Soluciones
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita aireación.
5% - 15% Rango ideal			
>15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)

Nota. Recuperado del Manual de Compostaje del Agricultor, FAO, 2013.

Humedad: La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular (FAO, 2013).

En la práctica del compostaje, siempre se ha de evitar una humedad elevada porque desplazaría al oxígeno y, en consecuencia, el proceso pararía a ser anaeróbico (ausencia de aire). Por otra parte si la cantidad de humedad de la pila de residuo es baja, se produce la disminución de la actividad de los microorganismos y en consecuencia el proceso se retrasa, la tabla 5 relaciona los rangos óptimos de humedad y posibles soluciones cuando estos no se alcanzan

durante el compostaje. Hemos de tener en cuenta, que el propio calor generado en el proceso provoca la disminución de la humedad (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo, 2014).

Tabla 5

Rangos óptimos de humedad

Porcentaje de Humedad		Problema	Soluciones
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos.	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)
45% - 60% Rango ideal			
>60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

Nota. Recuperado del Manual de Compostaje del Agricultor, FAO, 2013.

Temperatura: El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. La figura 1, muestra la curva de la temperatura durante todo el proceso de compostaje y la tabla 6 describe los rangos óptimos según la FAO (2013). Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización.

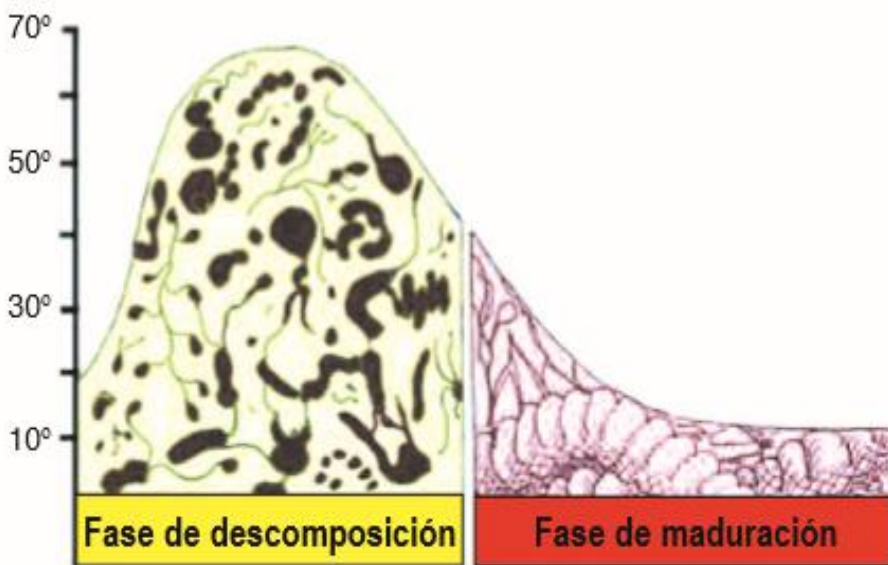


Figura 1. Grafica de Temperatura en las Fases del Compost. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo de España, 2014.

Tabla 6*Rangos óptimos de temperatura*

Temperatura (°C)		Causas asociadas	Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente <35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material Insuficiente	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje
	Déficit de nitrógeno o baja C:N	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura más de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol
Altas temperaturas (T ambiente >70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

Nota. Recuperado del Manual de Compostaje del Agricultor, FAO, 2013.

pH: El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos, la tabla 7 relaciona los rangos óptimos propuesto por la FAO. Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos

orgánicos. Eventualmente, esta bajada inicial del pH puede ser muy pronunciada si existen condiciones anaeróbicas, pues se formarán aún más cantidad de ácidos orgánicos. En una segunda fase se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sánchez-Monedero, Roig A, Paredes y Bernal, 2001).

Tabla 7

Rangos óptimos de pH

pH		Problema	Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N
4,5 – 8,5 Rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Nota. Recuperado del Manual de Compostaje del Agricultor, FAO, 2013.

Relación Carbono-Nitrógeno (C: N): Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del C y del N, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 (Jhorar, Phogat y Malik, 1991).

La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor que 40 la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos. Para eliminar el exceso de carbono (en forma de anhídrido carbónico) es necesaria la aparición sucesiva de diversas especies microbianas. Al morir estos microorganismos el nitrógeno contenido en su biomasa se recicla y la relación C/N tiende a disminuir. Si el residuo tiene una alta relación C/N, pero la materia orgánica es poco biodegradable, la relación C/N disponible realmente para los microorganismos es menor y el proceso evolucionará rápidamente, pero afectará sólo a una proporción de la masa total. Si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N del proceso. La tabla 8, describe los rangos ideales propuesto por la FAO.

Tabla 8*Rangos óptimos de relación Carbono / Nitrógeno*

C:N		Problema	Soluciones
>35:1	Exceso de Carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
	15:1 – 35:1 Rango ideal		
<15:1	Exceso de nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Nota: Recuperado del Manual de Compostaje del Agricultor, FAO (2013)

4. Diseño metodológico

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad de la Costa (CUC), ubicada en el norte-centro histórico de la ciudad de Barranquilla.

4.1. Montaje del experimento

Se adecuaron tres canastas plásticas de iguales dimensiones, tapizadas con plástico con el fin de evitar la pérdida de material; de igual forma, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la ciudad, se cubrió cada una de las canasta del mismo plástico evitando la entrada de aguas lluvias y vectores, que pudieran afectar o modificar las condiciones en las que se desarrollaba el compost. Las muestras se almacenaron bajo las mismas condiciones, evitando así que otras variables intervinieran en el proceso.

4.2. Materias primas

La materia prima utilizada en los tres tratamientos del compostaje, fueron sangre y estiércol bovino, ambas fueron obtenidas de una PBA, ubicada en el municipio de Galapa, Atlántico. El estiércol se tomó de los corrales de sacrificio ante-mortem del ganado y fue almacenado en galones con cierre hermético evitando la generación de olores o acercamiento de vectores como las moscas. Por otro lado, la sangre se obtuvo del pozo de almacenamiento de la planta de sacrificio y fue envasada en recipientes plásticos con una capacidad máxima de 3L, estos recipientes plásticos a su vez fueron almacenados en una cava con hielo con el fin de evitar la coagulación rápida de la sangre. Ambos residuos fueron transportados hasta las instalaciones de la Universidad, donde se encontraban las canastas plásticas adecuadas para el compostaje. Antes de realizar la mezcla, la sangre fue licuada puesto que se presentaron coágulos que podrían entorpecer el desarrollo del compostaje. Luego del licuado de la sangre esta fue mezclada por

capas en cada canasta según el porcentaje de cada residuo en cada uno de los tres tratamientos.

La figura 1, muestra el proceso de mezcla durante el montaje de la investigación.



Figura 1. Proceso de montaje de la investigación. Fuente: propia.

4.3. Formulación

El diseño experimental se realizó basado en la investigación llevada a cabo por Eche (2011), donde se analizó el desarrollo de un compostaje a partir de los mismos residuos (Sangre y Estiércol), teniendo tres tratamientos diferentes con variaciones en su porcentaje de composición, con el fin de evaluar las características físico-químicas del compost, al igual que la relación costo/beneficio. La tabla 1, relaciona la rotulación de cada uno de los tratamientos y composición de los mismos.

Tabla 1*Composición de cada tratamiento*

Tratamientos	% De Estiércol	% De Sangre
T1	80%	20%
T2	50%	50%
T3	20%	80 %

Nota: Definición del porcentaje de materias prima para cada tratamiento. Basado en la investigación realizada por Eche (2011).

El peso neto de cada tratamiento fue de 4 kg, distribuido según se estableció en la tabla 9.

Para el desarrollo del compostaje se escogió un sistema semicerrado en caja, permitiendo la aireación forzada del sistema a través del mezclado manual. Dicho mezclado se realizó tres veces por semana. Las figuras 2 a 4, muestran imágenes iniciales de los tres tratamientos, luego del mezclado de las materias primas.



Figura 2. Imagen inicial del Tratamiento 1. Fuente: Propia.



Figura 3. Imagen inicial del Tratamiento 2. Fuente: Propia.



Figura 4. Imagen inicial del Tratamiento 3. Fuente: Propia.

Para la toma de muestras y análisis de resultados, se establecieron tres periodos o fases, el primer periodo tiene una duración de 8 días, entre el 5 de junio de 2017 hasta 12 de junio de 2017. Segundo periodo, se desarrolló durante 6 semanas y media, entre el 12 de junio de 2017 al 27 de julio de 2017. Tercer y último periodo, fue de 1 semana y media, desarrolladas del 27 de julio de 2017 al 8 de agosto de mismo año.

4.4. Monitoreo y control

Durante el desarrollo del experimento se analizaron diferentes parámetros que influyen en la descomposición de la materia orgánica presente en cada uno de los tratamientos, en la tabla 2 se presentan las tablas utilizadas para cada uno de estos parámetros. El pH y la temperatura fueron obtenidos in situ con una frecuencia de tres veces por semana. Las muestras de humedad, porcentaje carbono y nitrógeno total, fueron tomadas y enviadas al laboratorio para su respectivo análisis, estos parámetros fueron evaluados en la etapa inicial y final del compost. Los datos obtenidos de las variables PH, temperatura y humedad fueron monitoreados durante el experimento con la finalidad de determinar el comportamiento de los valores de cada parámetro y que se acoplaran a unos rangos ideales de estos durante el compostaje y logran una relación de carbono-nitrógeno de adecuada.

Tabla 2*Parámetro a evaluar y técnica utilizada*

Parámetro	Técnica
pH	EPA 9045 D-B Electrométrico
Temperatura	SM 2550 B, Método Electrométrico
Humedad	NTC 1495 – 1
Fosforo Total	IGAC (ED 6, 2006)
Carbono Orgánico Total	WALKEY-BLACK IGAC (ED 6, 2006)
Nitrógeno Total	4500-NORG-C – 4500 NH3 B,C (ED 22, 2012)

Nota. Técnica utilizada para la medición de cada parámetro.

4.5. Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó aplicando ANOVA para cada una de las variables del estudio, utilizando el programa estadístico Stat Advisor. Con el fin de identificar diferencias significativas entre las medias se realizó una prueba de Tukey.

5. Resultados y discusión

5.1. pH

La figura 1, muestra el comportamiento del pH durante el desarrollo del compostaje, evidenciando que en el primer periodo los valores del pH fueron mayores a 7 para los tres tratamientos, no cumpliendo con lo establecido en la literatura de valores entre 4,5 y 6 (FAO, 2013). El tratamiento T1, sobrepasó en el segundo periodo el valor máximo ideal, igual que el tratamiento T3; por su parte T2, también superó este valor óptimo durante la parte final del segundo periodo y la inicial del tercero, de hecho obtuvo los valores más altos de pH con respecto a las demás muestras. El comportamiento atípico del pH durante esta investigación pudo darse como consecuencia de una desbalanceada relación C: N, causada por un exceso de nitrógeno en la mezcla, asociada a su vez con una alta humedad y presencia de amoníaco capaz de alcalinizar el compost. (FAO, 2013).

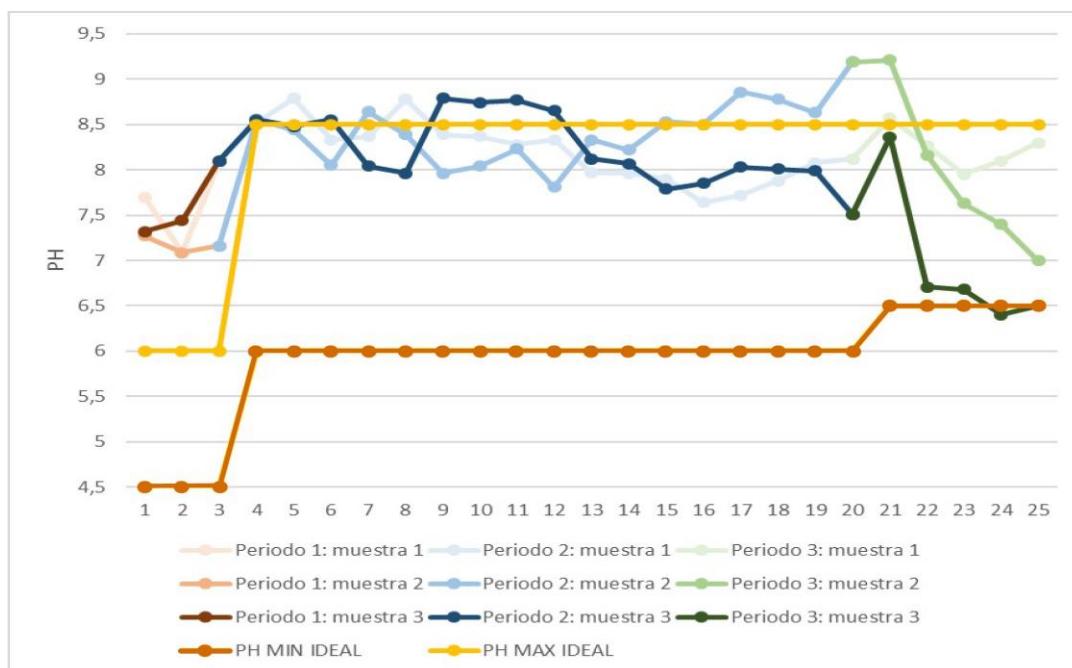


Figura 1. Variación del PH en los 3 periodos de operación del compostaje para los tres tratamientos.

No obstante, Chávez (2012) logró obtener un compostaje funcional a partir de estiércol y sangre de vaca, bagazo de caña o residuos vegetales y melaza, reportando el mismo comportamiento atípico de pH al obtener valores iniciales entre 7,00 – 7,50 para todos sus tratamientos.

La tabla 1 muestra los resultados del ANOVA para los tres tratamientos durante los tres periodos. Los datos del pH reflejan que durante el primer y segundo periodo no se encontró diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$), sin embargo durante el tercer periodo los factores, origen del tratamiento y día de muestro si tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre el valor del pH, con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 1

ANOVA del pH y Temperatura para los tres tratamientos en los tres periodos

		pH		Temperatura	
		F- Ratio	P- Value	F- Ratio	P- Value
Periodo 1	A: Tratamiento	2,19	0,2278	5,87	0,0646
	B: Día	2,73	0,1788	5,81	0,0673
Periodo 2	A: Tratamiento	1,54	0,2292	5,04	0,0125
	B: Día	0,48	0,9389	3,07	0,0011
Periodo 3	A: Tratamiento	13,07	0,0030	0,60	0,5697
	B: Día	6,23	0,0141	12,93	0,0014

Nota: Relación de los datos obtenidos en Stat Advisor para la ANOVA del pH y temperatura. Fuente: Propia.

La figura 2, refleja las diferencias en los datos del pH entre los tres tratamientos, para cada uno de los periodos. Durante los dos primeros periodos T1 y T3 tuvieron un comportamiento similar, mientras que T2 fue el tratamiento que más se acercó a los valores óptimos.

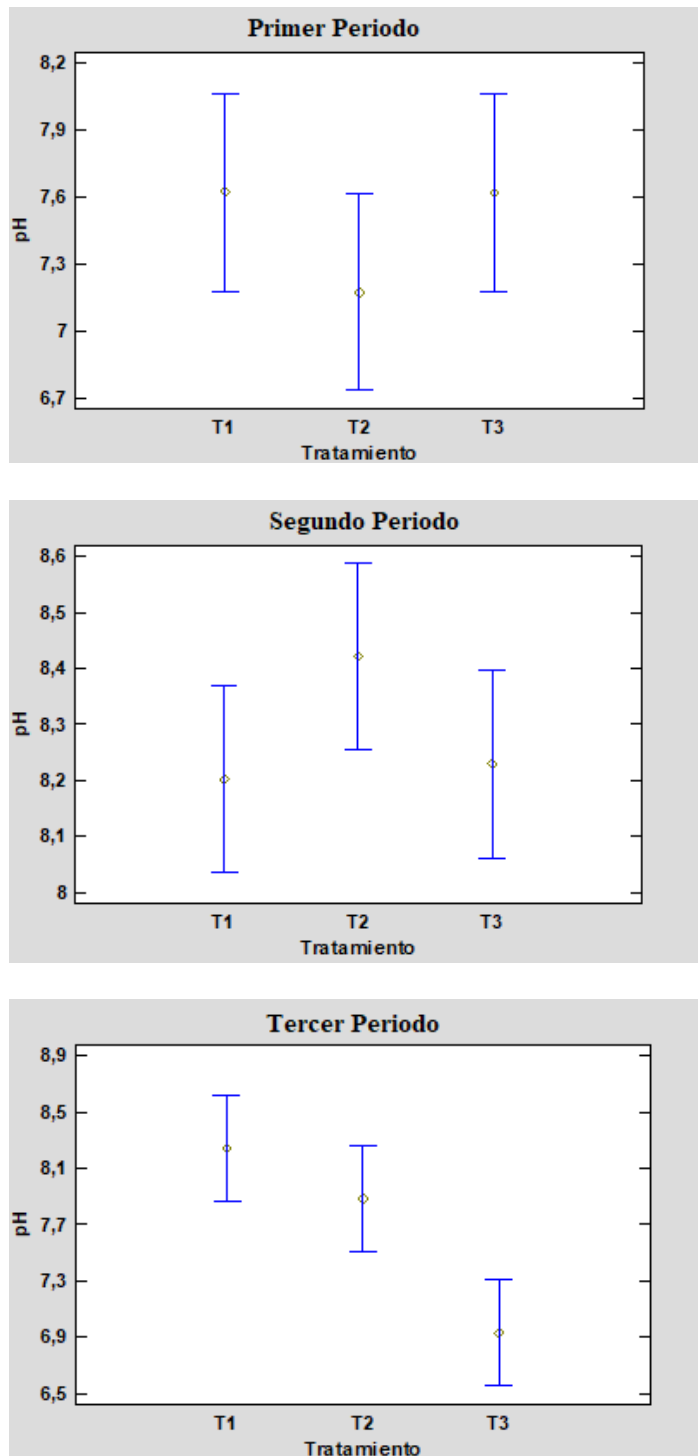


Figura 2. Gráfico de medias del pH y test de Tukey con una confiabilidad del 95%.

5.2. Temperatura

La figura 3, muestra el comportamiento de la temperatura para cada tratamiento durante el desarrollo del compostaje, el tratamiento T1 tuvo un valor medio de 29,71°C; el tratamiento T2 tuvo un valor medio de 29,39 °C; el tratamiento T3 obtuvo un valor medio de 30,40 °C. El mayor valor se presentó en el tratamiento T3 con 35,60°C durante el segundo periodo; sin embargo apenas alcanza entrar en el rango óptimo establecido por Moreno y Moral (2008), dicho valor solo se presentó en un muestreo, y luego descendió a 31.60 °C.

Liang, Das y McClendon (2003), exponen que el síntoma más claro de la actividad microbiana es el incremento de la temperatura de la masa que está compostando, por lo que la temperatura ha sido considerada como una variable fundamental en el control del compostaje. Los cambios de la temperatura dependerán del tamaño de la pila (el calor generado es proporcional al volumen o masa de la pila, pero la pérdida es proporcional a la superficie), de las condiciones ambientales y del tipo de adición de aire a la pila, ya sea con volteos o con aire a presión (Ekinci, Keener y Elwell, 2004). En el desarrollo de esta investigación, la temperatura no tuvo un aumento considerable, por el contrario la masa de todos los tratamientos se mantuvo a temperatura ambiente. Esto pudo deberse, a la deficiencia carbono en las materias primas y la falta de oxígeno durante el proceso, estas deficiencias afectaron el desarrollo de los microorganismos encargados de la descomposición del material, inhibiendo la evolución del compostaje y su maduración.

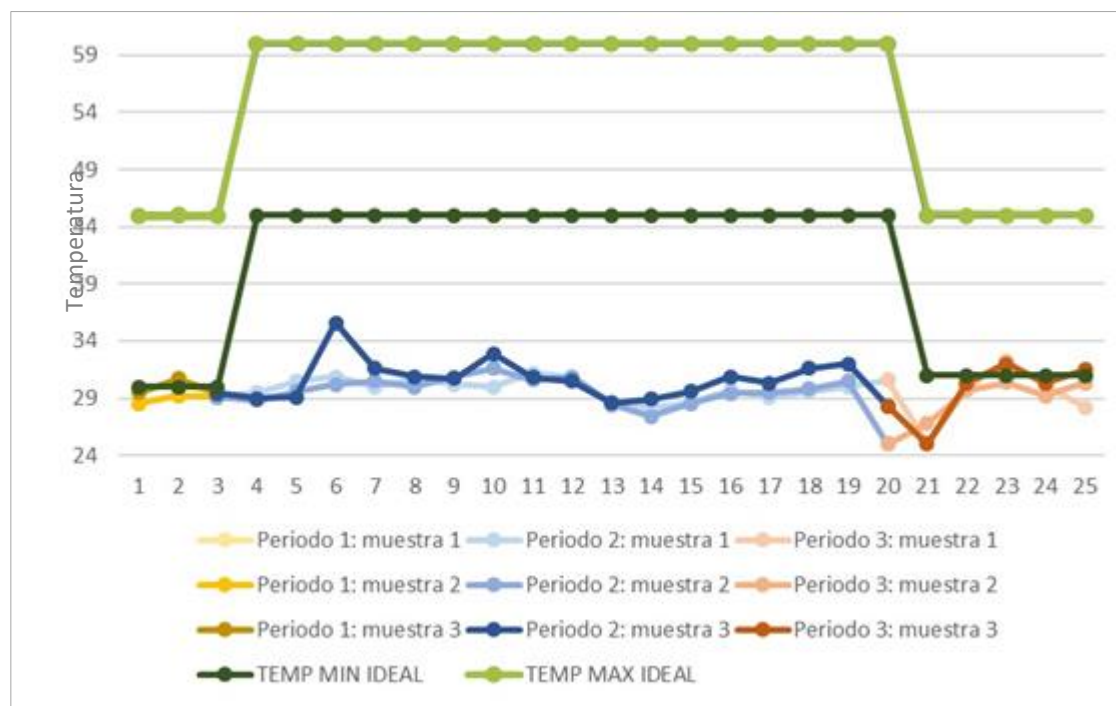


Figura 3. Variación de la temperatura durante los 3 periodos de operación del compostaje.

Resultados similares a los de esta investigación obtuvieron Acosta y Peralta (2015), en una mezcla compuesta por residuos de bovinos, residuos de tomate y compost de una casa, en la cual se presentó muy poca variación en la temperatura durante los 75 días del proceso de compostaje, pues estuvo en un rango promedio de 23°C alcanzando un máximo de 26°C a mitad del proceso. Cuando Acosta y Peralta (2015) dispusieron estos materiales al inicio del proceso presentaban gran contenido de humedad, esto sugiere que un exceso de agua en la mezcla (> 65 % de humedad) afectó negativamente la disponibilidad de oxígeno, ya que el compostaje es un proceso desarrollado por microorganismos con metabolismo aeróbico. La alta humedad también fue una característica en todos los tratamientos de esta investigación, datos que se relacionan en el numeral 6.3. La insuficiencia del oxígeno tal como sugieren los valores de humedad en ambas investigaciones provocó que los microorganismos cambiaran su tipo de producción de energía

hacia procesos fermentativos, mucho menos eficientes energéticamente (menos producción de calor, procesos más lentos), lo que no favoreció para el aumento de temperatura necesario para la estabilización biológica total del producto (Moreno y Moral, 2008).

La tabla 1, relaciona los resultados del ANOVA para la temperatura, mostrando que durante el primer periodo no se presentaron diferencias estadísticas significativas, mientras que en el segundo y tercer periodo si se presentaron dichas diferencias en los tratamientos y días de muestreo, al obtener un P-Value por debajo de 0,05 con una confiabilidad del 95%. Estas diferencias estadísticas solo demuestran que el porcentaje de distribución de las materias primas y el tiempo entre cada día de muestreo, incidieron sobre los valores que se obtuvieron para la temperatura.

La figura 4, los tres periodos respectivamente. Demostrando que el tratamiento T3, tuvo los valores más altos durante los tres periodos, mientras que el tratamiento T2, mostró los valores más bajos.

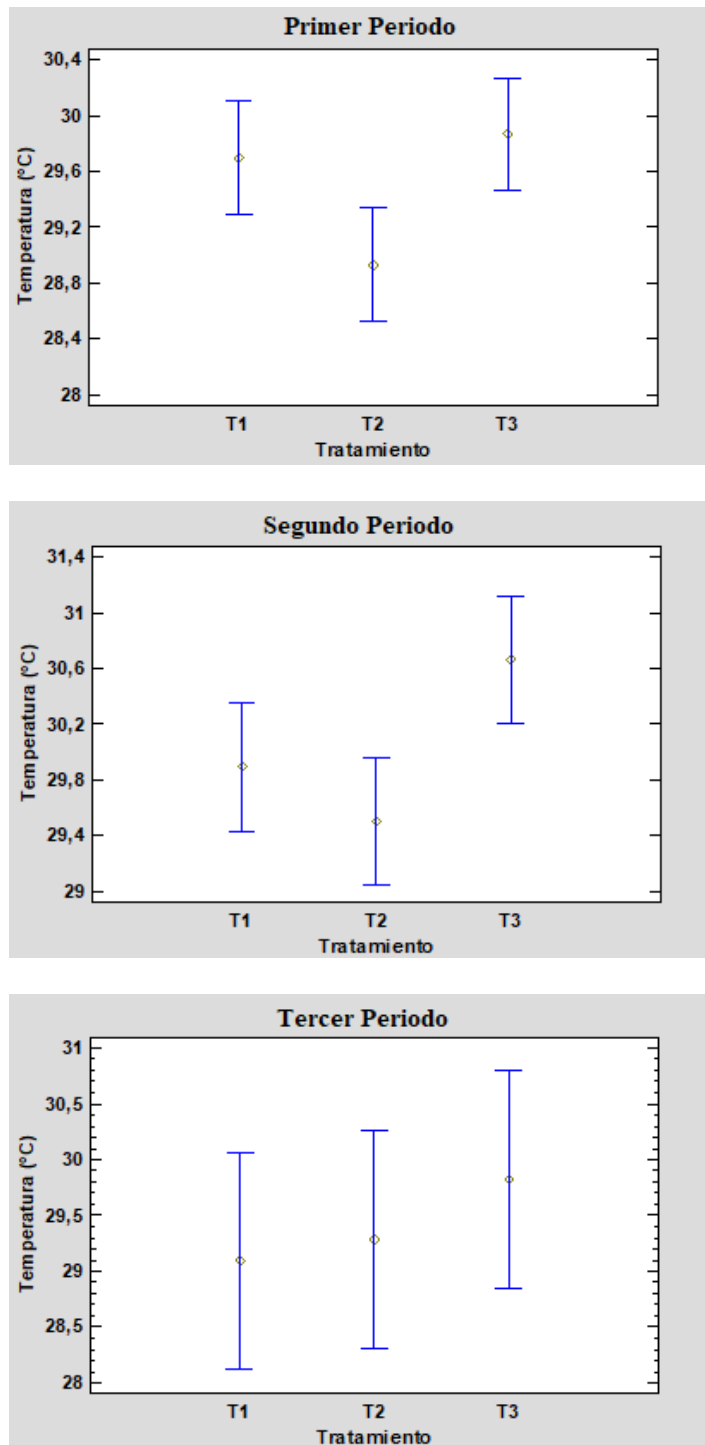


Figura 4. Gráfico de medias para la temperatura y test de Tukey con confiabilidad del 95%.

5.3. Humedad

La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%; la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%; por encima del 70% el agua desplaza al aire en los espacio libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose una anaerobiosis (Bueno, Díaz y Cabrera, 2008)

La Tabla 2, relaciona los datos obtenidos para la humedad de cada tratamiento, mostrando valores iniciales por encima del 80% en todos tratamientos, mientras que los valores finales muestran una disminución obteniendo para T1 un valor final cercano al 70% y para T2 y T3 valores entre el 40 y el 50%.

Tabla 2

Resultados obtenidos de humedad vs Rangos óptimos

Tratamiento	Inicial	Ideal	Final	Ideal
T1	86,73 %	50,00 – 70,00%	72,06 %	50,00 – 70,00%
T2	82,74 %	50,00 – 70,00%	47,17 %	50,00 – 70,00%
T3	81,15 %	50,00 – 70,00%	42,32 %	50,00 – 70,00%

Nota. Relación de resultados iniciales de la humedad en comparación con sus rangos ideales.

De acuerdo al rango optimo planteado por Bueno, *et al.* (2008), los datos iniciales obtenidos en esta investigación sobrepasan este rango. Esta alta humedad inicial trajo consigo olores fétidos muy fuertes y la presencia de moscas y larvas de forma simultánea, como consecuencia de la falta de oxígeno en los tratamientos. Se atribuye el exceso de humedad al tipo de material utilizado, puesto que tanto el estiércol como la sangre tienen un alto contenido de humedad.

Vale la pena destacar para los tratamientos T2 y T3, el porcentaje de humedad logró bajar y alcanzar el rango óptimo establecido por la FAO (2013), lo que a su vez demuestra un progreso en la degradación de la materia orgánica del compost.

5.4. Relación Carbono: Nitrógeno

La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; los microorganismos utilizan 30 partes de carbono generalmente por cada una de nitrógeno, se precisa que en la mezcla inicial este parámetro presente un valor entre 25 - 30 a 1 (INTEC, 1999).

Los resultados obtenidos para el carbono orgánico total y el nitrógeno total se exponen en las tablas 3 y 4, mientras que la relación C: N obtenida de la división de estos valores se relaciona en la tabla 5.

Tabla 3

Resultados de Carbono Orgánico Total en cada muestra

Tratamiento	Inicial (%)	Final (%)
1	48,27	43,55
2	43,05	41,26
3	37,75	35,74

Nota. Relación de datos obtenidos para el Carbono total. Obtenidos por el Laboratorio Microbiológico Barranquilla.

Tabla 4*Resultados de Nitrógeno Total*

Tratamiento	Inicial (mg N/Kg)	Final (mg N/Kg)
1	47324,23	41814,888
2	33715,12	30554,24
3	19569,77	14355,82

Nota. Relación de datos obtenidos para el Nitrógeno total. Obtenidos por el Laboratorio Microbiológico Barranquilla.

Tabla 5*Relación Carbono: Nitrógeno*

Tratamiento	Inicial (%)	Final (%)
1	10:1	10:1
2	12:1	13:1
3	19:1	24:1

Nota: Datos obtenidos para la relación Carbono: Nitrógeno.

Los tratamientos T1 y T2, presentaron valores iniciales de 10:1 en ambos tratamientos y valores finales de 12:1 y 13:1 respectivamente, dichos datos se encuentran muy por debajo del rango óptimo para la descomposición de la materia orgánica, adicional a esto la relación C: N no muestra cambios significativos entre los valores iniciales y finales, demostrando que la alta cantidad de nitrógeno freno la acción microbiana presente en estos dos tratamientos. De acuerdo con Chávez (2012) es importante obtener un buen equilibrio entre los materiales ricos en carbono

y ricos en nitrógeno que componen el compostaje, para que la relación C: N se mantenga en un rango entre 25 y 35.

Por otra parte el tratamiento T3, mostró un aumento en dicha relación teniendo un valor inicial de 19:1 y un valor final de 24:1, este aumento se debe a lo establecido por Sztern (2008), si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N del proceso. Sin embargo la velocidad del proceso fue muy lenta, debido a la influencia de los demás parámetros como la temperatura, el pH, la humedad y el oxígeno presente en los tratamientos. Esta baja velocidad llevó a que el compost empezara su autorregulación en T3 luego de 60 días, desviándose de lo establecido por Kiehl (1985) que esta autorregulación debería durar 15 días.

6. Conclusiones

A partir del desarrollo de esta investigación se concluye que, las variables de respuesta como la temperatura y pH no estuvieron dentro de los rangos estipulados por la FAO (2013), se considera por lo tanto que estos valores se dieron como consecuencia de la alta humedad presente en los tres tratamientos y la baja cantidad de oxígeno; sin embargo esta investigación muestra la oportunidad de utilizar el compostaje como una herramienta que permita la reutilización y disposición de la sangre como desecho peligroso. De esta manera las mezclas se deben realizar con materias primas con un mayor contenido de carbono, tales como residuos vegetales.

Luego de analizar los tres tratamientos, se evidenció que el tratamiento 3 (T3, 75% Estiércol + 25% Sangre), presentó una relación C: N, entre los rangos mínimos con un valor inicial de 19: 1 y un valor final de 24:1, lo que demuestra que si hubo descomposición del material presente, aunque la adición de material con un alto contenido de carbono y capacidad de absorción ayudaría a la mejorar descomposición de la materia orgánica y la maduración del compost. También se logró demostrar que T3, obtuvo los mejores resultados al bajar su porcentaje de humedad, eliminando olores ofensivos, obtuvo el valor más bajo en el pH y el valor más alto en la temperatura.

7. Recomendaciones

- Realizar análisis de porcentaje de carbono y nitrógeno para la sangre y el estiércol antes de ser mezclado.
- Hacer pruebas con otros materiales que permitan disminuir el porcentaje de la humedad, y mejorar la relación de carbono: nitrógeno.
- Secar el estiércol antes de ser mezclado, con el fin de disminuir la humedad de toda la masa.
- Realizar el proceso de licuado de la sangre, con el fin de romper los coágulos y realizar una mezcla homogénea.
- Implementar un mecanismo de aireación mecánica que permita inyección de oxígeno a la mezcla en intervalos establecidos, sin importar fecha u hora.
- Medir la humedad de la muestra semanalmente, de tal forma que se pueda analizar detalladamente el comportamiento de este parámetro.

8. Referencias

- Acosta, W. y Peralta, M. (2015). Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. Universidad de Cundinamarca, Colombia.
- Almanza C., Bonilla M., Calderón N., Cervantes M., Civit S., Pérez A., Espejel M., Signorini M. (2006). Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales.
- Arruda D. Resíduos sólidos de bovinos proveniente da estacao de tratamento de efluentes de frigorífico pelo proceso de compostagem e vermicompostagem na producao de mudas de alface.
- Barragan P. (2013). *Estudio del plasma sanguíneo bovino para fermentación sumergida y sistemas alimentarios*. Universidad de Caldas Manizales, Colombia.
- Bass T., Colburn D., Davis J., Derring J., Fisher M., Flynn R., Lupis S., Norton J. y Schaueremann N., (2012). Livestock Mortality Composting for large and small operations in the semi-arid west.
- Chamy, R. y Vivanco, E. (2007) *Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás*. Santiago de Chile, Chile.
- Chaux G., Roja, G. L. y Bolaños, L. (2009). Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades: Caso: Municipio de El Tambo (Colombia). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 102-114.
- Chavez L. (2012). Uso de desechos de camal (contenido ruminal, sangre y estiércol) en la elaboración de compost con la utilización de diferentes sustratos.

- Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). (2010). Consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas láctea y cárnica. Colombia.
- Contexto Ganadero. (2014). *Ciento sesenta y siete municipios de Colombia tienen lugares dedicados al sacrificio clandestino*. Bogotá, Colombia.
- Contexto Ganadero. (2014). *Estatus de las plantas de sacrificio del país de cara a cumplir Decreto 1500*. Bogotá, Colombia.
- Costa, M. S. D. M., Costa, L. A. D. M., Decarli, L. D., Pelá, A., Da Silva, C. J., Matter, U. F., & Olibone, D. (2009). Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 100-107.
- Eche F. (2011). Elaboración de compost, utilizando desechos orgánicos del centro de faenamiento de Julio Andrade Carchi-Ecuador.
- Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN). (2016). Datos estadísticos a partir de la producción de res en Colombia.
- Fleming R. & MacAlpine M. (2005). Composting Blood (Slaughterhouse Waste) Mixed With Various Substrates. *Renewable Energy*, 33(4), 726-734.
- Frankle-Whittle I., Insam H., (2013) Treatment alternatives of slaughterhouse wastes, and their effect on the inactivation of different pathogens: A review.
- Garzon I. (2010). Diagnóstico ambiental del camal municipal de la ciudad de Santo Domingo y mejora de su gestión.
- Gate. (2001). Anaerobic treatment of slaughterhouse waste and wastewater. *Biological Wastes*, 21(1), 11-28.

- Gonzales, A. (1995). *Efectos de contaminantes de industrias agroalimentarias: Mataderos e industrias cárnicas*. Instituto tecnológico de Andalucía, España.
- Gracey J. F. (2001). *Mataderos industriales: tecnología y funcionamiento*. Zaragoza España.
- Guerrero, J. y Monsalve, J. A. (2006). *El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda*. Scientia et Technica, 3(32).
- Guerrero, J., & Monsalve, J. A. (2006). *Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado*. Scientia et Technica, 3(32).
- Hernández, S., y Rodríguez, O. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. Ciudad de México, México.
- Ingrid, H., Franke-Whittle y Insam, H. (2013) Treatment alternatives of slaughterhouse wastes, and their effect on the inactivation of different pathogens: A review, Critical Reviews in Microbiology, 39:2, 139-151
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2015). Plantas de beneficio, desposte y desprese que cumplen con los requisitos sanitarios exigidos en el Decreto 1500 de 2007, Decreto 2270 de 2012 y resoluciones reglamentarias. Colombia.
- Jhorar, B.S., Phogat, V. y Malik E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. Arid Soil Rest. Rehabil.
- Kiehl, F.J. 1985. Fertilizantes orgânicos. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, Brasil.
- Liang C., Das K.C., McClendon R.W. (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Biores.

- Linden G., Lorient D. (1997). Bioquímica agroindustrial: Revalorización alimentaria de la producción agrícola. Editorial Acribia S.A.: Zaragoza (España). 454 p
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo. (2009). *Manual del compostaje*. Madrid, España.
- Mourales, M. M., Xavier, C. A. N., Silva, A. A., y Lucas Júnior, J. (2006). *Uso da compostagem para tratamento de resíduo sólido de abatedouro de bovinos. VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação*. Universidade do Vale do Paraíba. Anais... Jacareí, 2077-2079.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2003). *1er Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para Todos, Agua para la Vida*. París, Francia. New York, Estados Unidos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Manual del compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile, Chile.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Perspectivas alimentarias: Resúmenes de Mercado*.
- Ortiz, F. (2005). Manual de elaboración de composta: Bases para la elaboración de un plan de trabajo en un huerto orgánico.
- Rodríguez, C. (2002) *La intensificación ganadera como proceso de producción de residuos*. Córdoba, Argentina.

- Sánchez-Monedero M. A., Roig A., Paredes C. y Bernal M. P. (2001). *Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Biores. Technol.*
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2015). Guía para la prevención: Manejo y control de los vertimientos generados por el sector cárnico de la ciudad de Bogotá.
- Signorini, M., Civit-Gual, S., Bonilla-Padilla, M., Cervantes, M.E., Calderón-Vásquez, M., Pérez-Montecillos, A., Espejel-Maya, P & Almanza, C. (2006). *Evaluación de Riesgos de los Rastros y Mataderos Municipales*. Secretaría de Salud. México, D.F.
- Veall, F. (1993). *Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo*. FAO. Italia, Roma.
- Xu, S., Reuter, T., Stanford, K., Larney, F. J., & McAllister, T. A. (2014). *Composting as a Method for Carrion Disposal in Livestock Production. Carrion Ecology, Evolution, and Their Applications*.